

もう一度学ぶ電磁気学の世界



第14回 電磁シールドのしくみ

小暮裕明



高周波回路が動作すれば、その周りの空間には電界と磁界が発生します。回路から離れた場所では空間を移動する電磁界も観測されます。これがマクスウェルの方程式によってその存在を予測された「電磁波」です。ヘルツは実測によりその存在を証明し、マルコーニは無線通信の実験に成功して実用化しました。一方で、回路から放射される不要な電磁波は、EMI(電磁妨害)問題の源になりますから、その影響を排除する技術も必要になります。今回は電磁波の侵入を阻止し、また逆に電磁波ノイズを漏らさない、電磁シールドについて学びます。(筆者)

流線で描いた電気力線を用いて理解することができます。今、一つの孤立した導体に電荷 Q を与えると、その導体に電位 V が生じ、その比をその導体の静電容量と言います。

$$C = \frac{Q}{V} \dots\dots\dots (1)$$

また二つの孤立した導体1と導体2に、 $+Q$ と $-Q$ の電荷を与え、それぞれの導体の電位が V_1 と V_2 である場合、2導体間の静電容量は次の式で表されます。

$$C = \frac{Q}{(V_1 - V_2)} \dots\dots\dots (2)$$

電位差 $V_1 - V_2$ を V とすれば、式(2)は式(1)になる

1. 電界シールドの方法

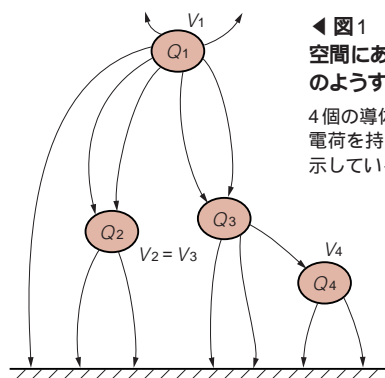
● 静電シールド

シールド(shield)は「遮へい」と訳し、覆いをすることを意味します。また遮断とも言いますから、電磁シールドといえば、電磁界をさえぎって通過させないことを意味します。

図1は、空間に孤立した導体が N 個(ここでは4個)あって、それぞれ Q_n の電荷を持っているときの電気力線を示しています。時間変動のない静電界では、このように電界を

図1で、 Q_2 による電位 V_2 と、 Q_3 による電位 V_3 が等しければ、両導体間に電気力線はなく、電界による結合は生じません。一方、 Q_1 による電位 V_1 と、 Q_3 による電位 V_3 のように、電位の異なる導体間には電気力線が結ばれ、電界による静電結合が生じます⁽¹⁾。

図2は、導体2で導体1を完全におおい、導体2をグラウンドにつないでゼロ電位にしています。導体2の電位は一



◀ 図1
空間にある導体の電荷と電気力線
のようす
4個の導体があって、それぞれ Q_n の電荷を持っているときの電気力線を示している。

▶ 図2
静電シールド

導体2で導体1を完全におおい、導体2をグラウンドにつないでゼロ電位にしている。導体2の外側にある電界の影響は、導体1にはまったく及ばなくなる。

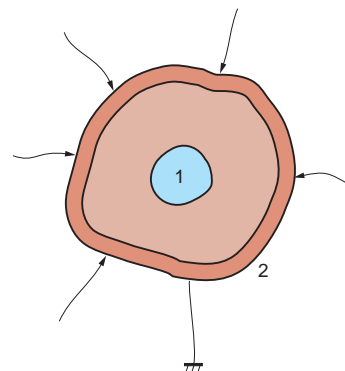




写真1 ファラデーの作った実験器具
ロンドンの王立協会のファラデー博物館
内に展示されている(筆者撮影)。



写真2 ファラデーの立像
ロンドンの王立協会(筆者撮影)。

定であればよく、接地しなくてもよいのですが、実用的にはゼロ電位で一定にするのが楽です。

このようなときには、導体2の外側にある電界の影響は、導体1にはまったく及ばなくなり、この状態を静電シールド(または静電遮へい)と呼びます。

こんどは導体1の電位を V_1 、導体2をゼロ電位とすると、導体1から出る電気力線はすべて導体2で終わり、導体2の近くに導体3があっても電荷は現れません。

● ファラデー・ケージ

図2のように、静電界を遮へいするような金属または金属メッシュなどでできた容器を、ファラデー・ケージ(Faraday cage)といいます。写真1は、ロンドンにある王立協会(ファラデー博物館内)に展示されているそれらしき装置です。ファラデー^{注1}(写真2)は手先が器用だったらしく、さまざまな実験器具を自作しています。

この装置は、真ちゅうのような導体でできた球体の容器の中に帯電させるための導体球がある構造で、これらの間は絶縁するようになっています。写真1の左には、大理石をくり抜いた絶縁材が見えます(ファラデーが行った実験の手順は、本誌2004年10月号、pp.142-149の連載第6回を参照)。

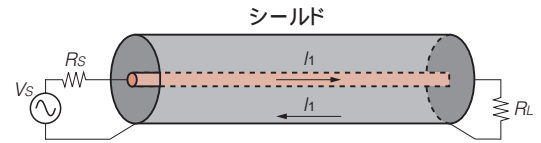


図3 同軸ケーブルの構造
内導体線路の周りを円筒状の金属(シールド)が囲っている。

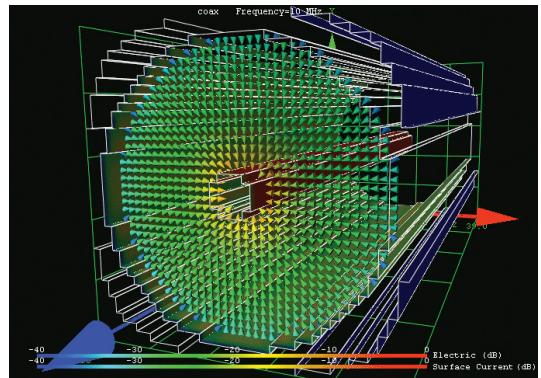


図4 同軸ケーブル断面の電界ベクトルのようす(10MHz)
電磁界シミュレータ Micro-Stripes による同軸ケーブルのシミュレーション結果。

内導体から電線を引き出して電位計に接続し、外導体の容器を接地して $V(V)$ を表示したとき、内外容器の間の静電容量を $C(F)$ 、容器内の電荷を $Q(C)$ とすると、式(1)から、次の関係が成り立ちます。

$$Q = CV \dots\dots\dots (3)$$

これにより電位計の値を電荷量に変換して測定することができますが、同じ原理で「ファラデー・ケージ法による静電電荷量測定器」として製品化されています^{注2}。また、この測定具そのものをファラデー・ケージと呼ぶこともあります。

ファラデー・ケージの内部容器から引き出す電線は、静電誘導^{注3}によるノイズを防ぐために、金属はくや金属製の組みひもなどで内部の導線を覆ったシールド・ケーブルを使用しています。

注1: ファラデー(1791年~1867年)は、イギリスの物理学者、化学者。ロンドン郊外の鍛冶(かじ)屋の子として生まれ、科学に興味を持ち、試作・実験を繰り返した。王立研究所で助手、教授として清貧の生活を続ける。電磁誘導の発見(1831年)、電気分解のファラデーの法則(1833年)、自己誘導の発見(1834年)など、また静電気の研究では電場、磁場、力線などを用いた近接作用論を提唱(1835年)。静電容量(キャパシタンス)の単位F(ファラッド)は、彼の名にちなんでいる。
注2: ファラデー・ケージ型電荷量測定器(KQ-1400): <http://www.ekasuga.co.jp/> や <http://www.webshiro.com/syohinsetumei/wpkaq1400.htm> を参照。
注3: 静電誘導とは、導体や誘電体の近くに帯電体がある場合、帯電体に近い部分に異符号、遠い部分に同符号の電荷が誘起される現象。